

リニアレギュレータシリーズ、スイッチングレギュレータシリーズ

リニアレギュレータやローパスフィルタを用いたスイッチングノイズ抑圧方法

スイッチングレギュレータは出力電圧にリップルとスイッチングノイズを含むため、センサなど精度の高い入力電圧を必要とする電源としてふさわしくありません。一般的な対策としてスイッチングレギュレータの出力にリニアレギュレータを接続し、リップルとスイッチングノイズを抑圧する方法があります。しかし、負荷など様々な条件において、リップルとスイッチングノイズを抑圧する事は難しく、これらを伝播してしまう事があります。更なる対策としてスイッチングレギュレータの出力にローパスフィルタを接続し、それをリニアレギュレータの電源として接続する事が有効です。

本アプリケーションノートではリニアレギュレータやローパスフィルタを用いたリップルとスイッチングノイズの抑圧方法とその結果を示します。

リップルとスイッチングノイズの発生と抑圧方法

リップルとスイッチングノイズはスイッチングレギュレータにより発生しますが、出力にリニアレギュレータを接続すると PSRR(Power Supply Rejection Ratio)に従って抑圧されます。

しかし、リニアレギュレータの周波数特性は有限であるため、高い周波数で PSRR が低くなります。スイッチング周波数は数百 kHz から数 MHz と高いため、リニアレギュレータの出力に重畳します(Figure 1)。

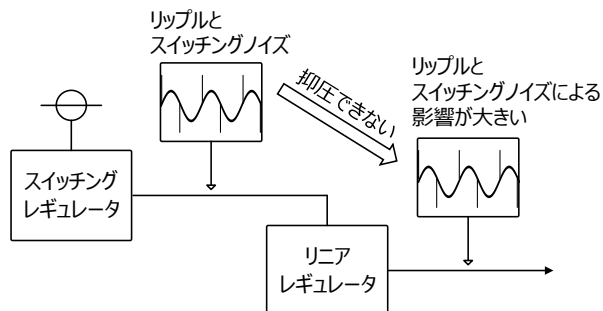


Figure 1. リニアレギュレータの周波数特性は有限であるため、高い周波数で PSRR が低くなります

スイッチングノイズが出力に重畳していると、センサの入力精度を満たせないことがあります。

高い周波数域で PSRR を高めるため、スイッチングレギュレータの出力にローパスフィルタを接続し、高周波を抑圧します。低域の周波数のみが残っていますが、この周波数はリニアレギュレータによって抑圧できる周波数ですので、抑圧された出力が得られます(Figure 2)。

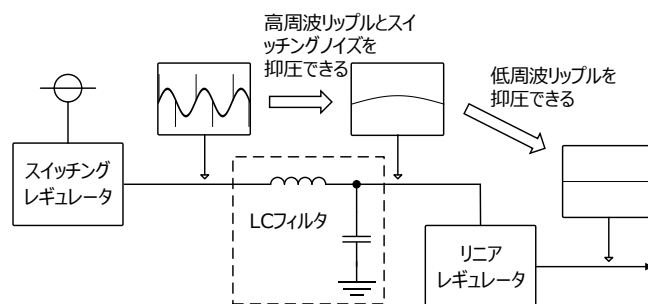


Figure 2. ローパスフィルタによるスイッチングノイズの抑圧

リニアレギュレータの PSRR 測定方法

ここではリニアレギュレータの PSRR 特性について説明します。この特性に従ってスイッチングノイズの抑圧率が決まります。PSRR のゲインが高いほど抑圧率が高くなります。PSRR の測定回路は Figure 3 の通りです。FRA(FRA5087、NF)の OSC をバイポーラアンプ(HSA4101、NF)へ入力し、AC リップル成分を重畳します。そして、その出力(DC offset 5V、ripple 20mV)をリニアレギュレータへ入力します。出力負荷(PLZ334W、KIKUSUI)は1mA、10mA、100mAの条件で測定します。今回使用する IC は BU29JA2MNVX-C (VIN5.0V、VOUT2.9V)です。

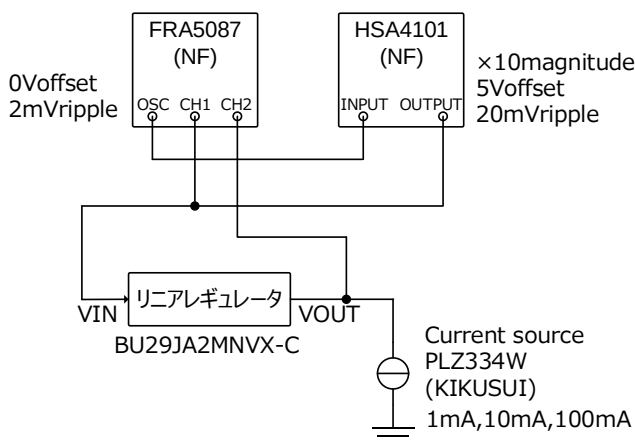


Figure 3. PSRR 測定方法

本アプリケーションノートではスイッチングレギュレータとして BD9D300MUV を使用します。その出力を BU29JA2MNVX-C の電源とすると、そのスイッチング周波数(1.25MHz)付近の PSRR が低いことが分かります(Figure 4)。また、出力負荷が増えると PSRR が下がり、スイッチングノイズを伝播していると考えられます。よって、リニアレギュレータの周波数特性を補うため、スイッチングレギュレータの出力とリニアレギュレータの間にローパスフィルタを挿入することが必要です。本アプリケーションノートではローパスフィルタとして LC フィルタを用います(Figure 5)。

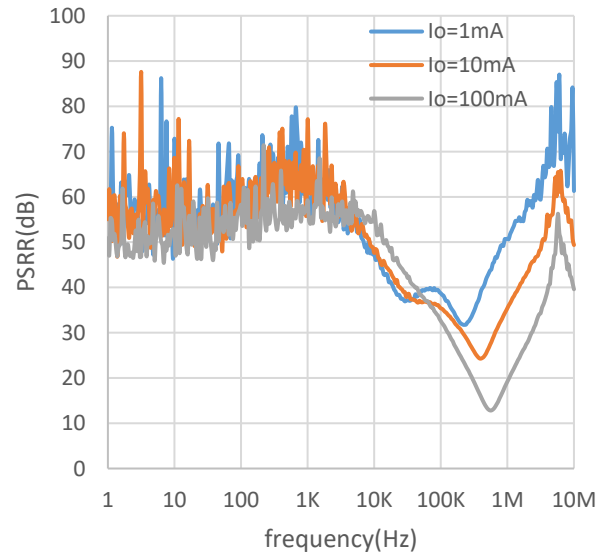


Figure 4. BU29JA2MNVX-C の PSRR 特性

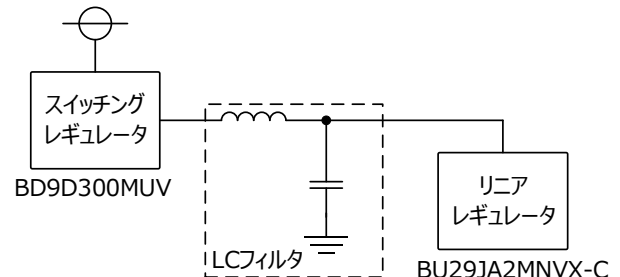


Figure 5. LC フィルタの挿入位置

ローパスフィルタの定数設計

ローパスフィルタが必要になった場合、その設計にはシミュレーションを用いるのが簡便で有用です。フリーの SPICE モデルが公開されている場合、シミュレータを用いて詳細な確認ができます。

部品は $L=47\mu\text{H}$ (直列抵抗 $\text{DCR}=5\Omega$) を LQH2MCN470K02 (Murata)、 $C=10\mu\text{F}$ を GRM188B31A106KE69 (Murata) として、シミュレーションします (Figure 6、Figure 7)。本アプリケーションノートで用いている定数は一例ですので、実仕様に合ったコイル (定格電流や DCR)、コンデンサを使用する必要があります。

例えば、Figure 6 の例ですと、最大電流 100mA としており、 V_{OUT} は V_{IN} に対して 0.5V まで電圧降下しても許容できるとしています。また、コイルの定格電流は 120mA のコイルを使用しています。

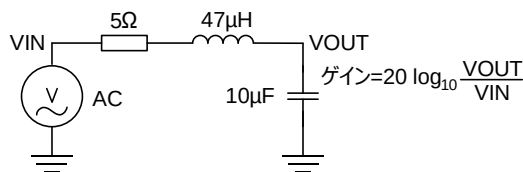


Figure 6. ローパスフィルタの周波数特性測定イメージ

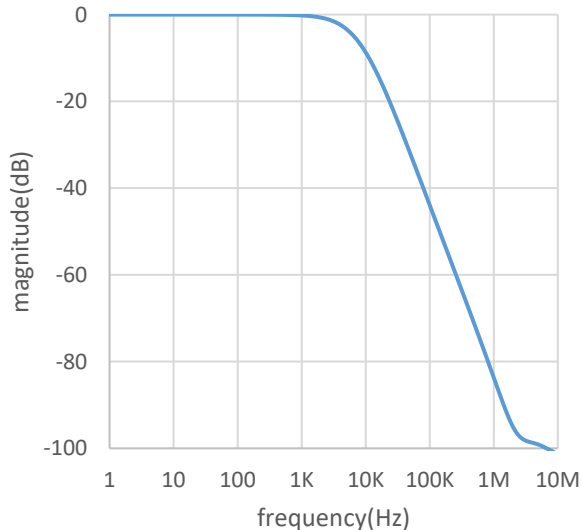


Figure 7. ローパスフィルタの周波数特性

カットオフ周波数は $1/(2\pi\sqrt{LC})$ より 7.35kHz です。PSRR の低下している 30kHz 付近では -23dB、500kHz 付近では -70dB となっており、PSRR を改善できると想定できます (Figure 7)。

ローパスフィルタを含めた PSRR

ローパスフィルタを含めた測定回路が Figure 8 です。前述と同じく出力負荷 1mA、10mA、100mA の時の PSRR 特性を測定します。各出力負荷条件における PSRR 測定結果が Figure 9 です。

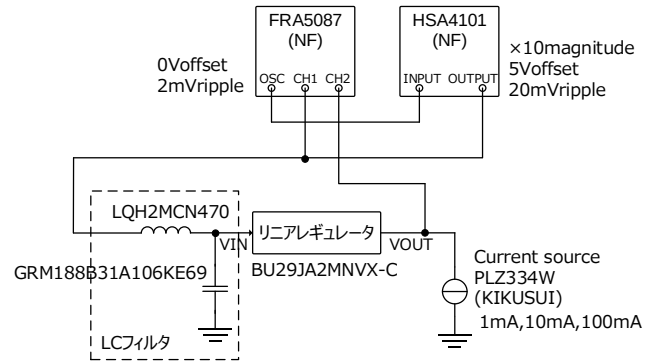


Figure 8. ローパスフィルタを含めたリアレギュレータの PSRR 測定回路

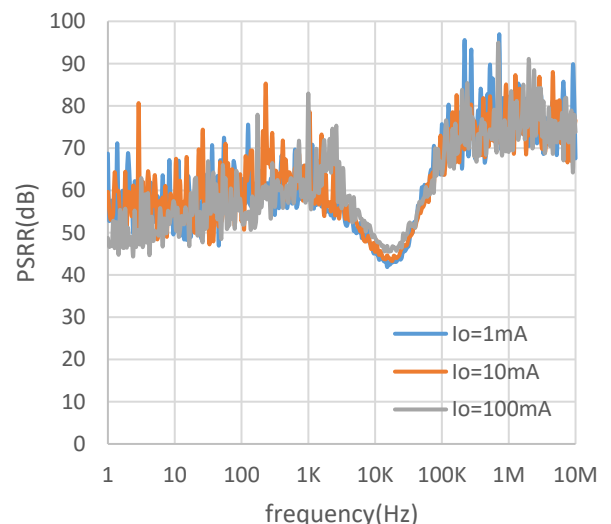


Figure 9. ローパスフィルタを含めたリアレギュレータの PSRR

BD9D300MUV のスイッチング周波数 1.25MHz での PSRR を見ると全負荷条件で 60dB を超えているので、ローパスフィルタによりスイッチングノイズを抑圧しています。

スイッチングノイズを伝播させない回路設計

まず、スイッチングレギュレータのスイッチングノイズの大きさを見ます。スイッチングレギュレータには電源(6643A, HEWLETT PACKARD)を接続しています。スイッチングレギュレータ(BD9D300MUV)のスイッチングノイズをDCブロック(PSPL5501A, Tektronix)を用いて分離し、信号をスペクトラムアナライザ(N9020A, Agilent Technologies)に入力し、成分分析を行うと、スイッチング周波数の倍数にピークが発生しています(Figure 10、Figure 11)。

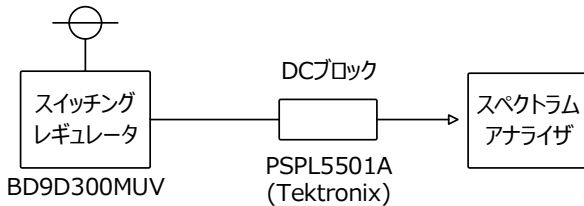


Figure 10. スwitchングノイズの信号解析方法

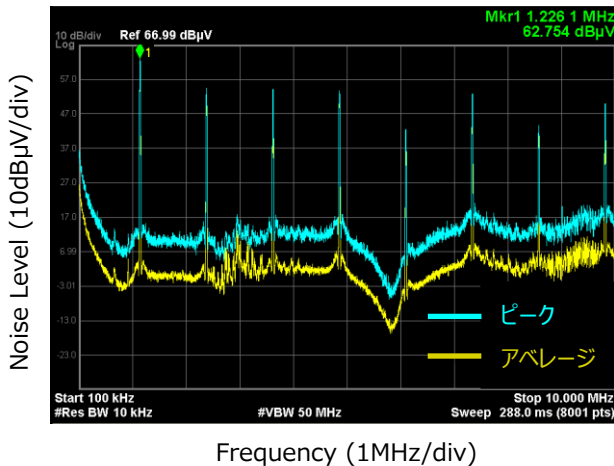


Figure 11. スwitchングノイズの信号解析結果

次に、スイッチングレギュレータの出力にローパスフィルタ、そのローパスフィルタにリニアレギュレータを接続します。リニアレギュレータの出力に DC ブロックを接続し、スペクトラムアナライザに入力し、成分分析をします (Figure 12、Figure 13)。

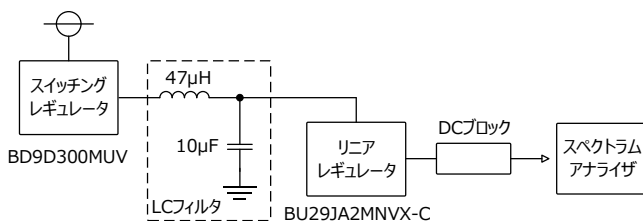


Figure 12. リニアレギュレータ、ローパスフィルタによる
スイッチングノイズ抑圧回路

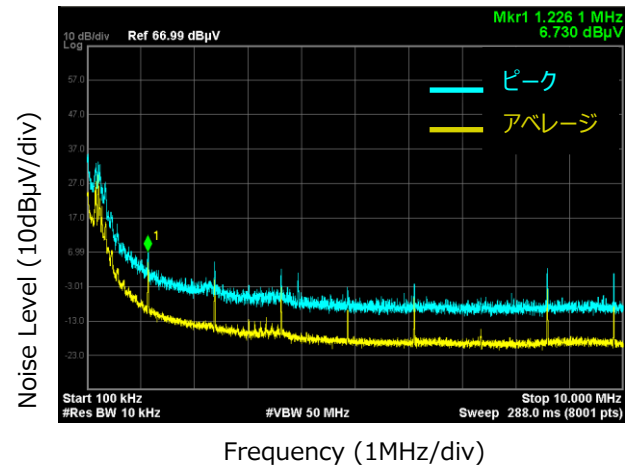


Figure 13. スwitchングノイズ軽減の信号解析結果

この回路を用いるとスイッチングノイズが抑圧されているのが確認できます(Figure 14)。

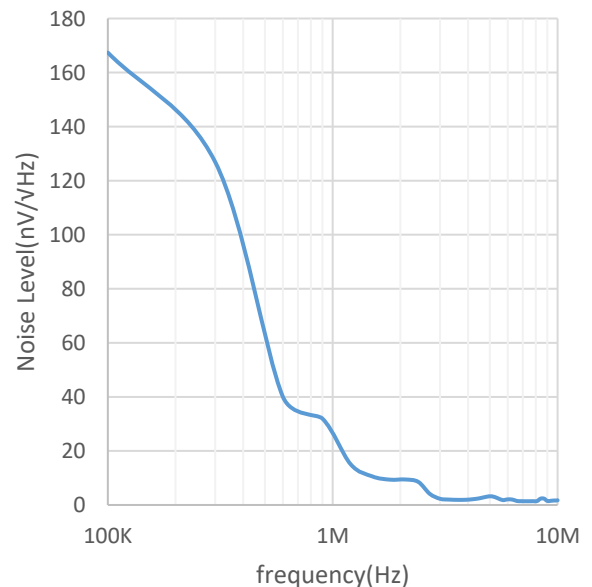


Figure 14. リニアレギュレータ、ローパスフィルタによる
スイッチングノイズ抑圧結果

まとめ

スイッチングレギュレータの出力をリニアレギュレータの電源とする場合、抑圧できないスイッチングノイズが出力に重畳することがあります。これを抑圧するためにはスイッチングレギュレータとリニアレギュレータの間にローパスフィルタを挿入する方法が有効です。本アプリケーションノートでは回路例を提供し、実験結果をまとめました。

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。
お客様にかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>